

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000315503  
PUBLICATION DATE : 14-11-00

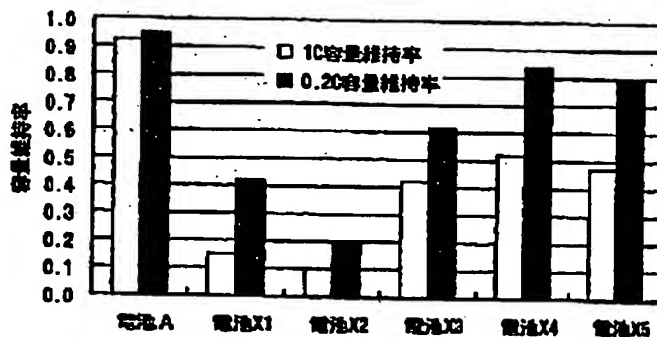
APPLICATION DATE : 17-12-99  
APPLICATION NUMBER : 11358615

APPLICANT : SANYO ELECTRIC CO LTD;

INVENTOR : FUJITANI SHIN;

INT.CL. : H01M 4/58 H01M 4/02 H01M 10/40

TITLE : NON-AQUEOUS ELECTROLYTE  
SECONDARY BATTERY



**ABSTRACT :** **PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a positive electrode active material for a non-aqueous electrolyte secondary battery having a high capacity maintaining rate and a good cyclic characteristic.

**SOLUTION:** A positive electrode active material of a non-aqueous electrolyte secondary battery is formed from a mixture of a first oxide consisting of spinel series oxide containing substantially lithium, manganese, and a metal other than manganese and oxygen, and a second oxide composed substantially of lithium, nickel, cobalt, a metal other than nickel and cobalt, and oxygen, being different from the first oxide.

**COPYRIGHT:** (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-315503

(P2000-315503A)

(43) 公開日 平成12年11月14日 (2000. 11. 14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 M 4/58		H 0 1 M 4/58	5 H 0 0 3
4/02		4/02	C 5 H 0 1 4
10/40		10/40	Z 5 H 0 2 9

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平11-358615	(71) 出願人	000001889 三洋電機株式会社 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(22) 出願日	平成11年12月17日 (1999. 12. 17)	(72) 発明者	砂川 拓也 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平11-52741	(72) 発明者	藤本 洋行 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
(32) 優先日	平成11年3月1日 (1999. 3. 1)	(74) 代理人	100095382 弁理士 目次 誠 (外1名)
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

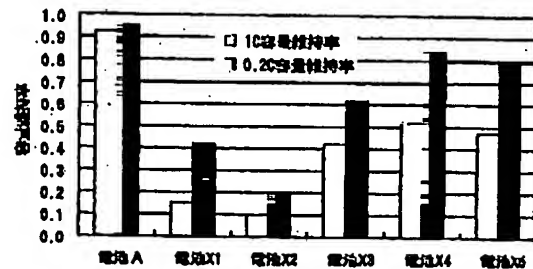
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非水電解質二次電池

## (57) 【要約】

【課題】 非水系電解液二次電池において、容量維持率が高くサイクル特性の良好な正極活物質を提供する。

【解決手段】 リチウムと、マンガンと、マンガンとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成されるスピネル系酸化物からなる第一酸化物と、リチウムと、ニッケルと、コバルトと、ニッケル及びコバルトとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成され、前記第一酸化物とは異なる第二酸化物とからなる混合物を正極材料とすることを特徴としている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 リチウムと、マンガンと、マンガンとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成されるスピネル系酸化物からなる第一酸化物と、リチウムと、ニッケルと、コバルトと、ニッケル及びコバルトとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成され、前記第一酸化物とは異なる第二酸化物とからなる混合物を正極材料とすることを特徴とする非水電解質二次電池。

【請求項2】 前記第一酸化物が、リチウム-マンガン複合酸化物のマンガンの一部を他の元素で置き換えた酸化物であり、前記第二酸化物が、リチウム-ニッケル複合酸化物のニッケルの一部をコバルトと他の元素で置き換えた酸化物であることを特徴とする請求項1に記載の非水電解質二次電池。

【請求項3】 前記第一酸化物が、組成式  $Li_xMn_{2-y}M_{1-y}O_{4+z}$  ( $M_1$ はAl、Co、Ni、Mg、Feからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 \leq x \leq 1.2$ 、 $0 < y \leq 0.1$ 、 $-0.2 \leq z \leq 0.2$ ) で表されるリチウム-マンガン系複合酸化物であることを特徴とする請求項1または2に記載の非水電解質二次電池。

【請求項4】 前記第二酸化物が、組成式  $Li_aM_{2-b}Ni_cCo_dO_2$  ( $M_2$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < a < 1.3$ 、 $0.02 \leq b \leq 0.3$ 、 $0.02 \leq d/(c+d) \leq 0.9$ 、 $b+c+d=1$ ) で表されることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項5】 前記第一酸化物の組成式  $Li_xMn_{2-y}M_{1-y}O_{4+z}$  において、 $M_1$ がAl、Mgの少なくとも1種であることを特徴とする請求項3に記載の非水電解質二次電池。

【請求項6】 前記第二酸化物の組成式  $Li_aM_{2-b}Ni_cCo_dO_2$  において、 $M_2$ がMnであることを特徴とする請求項4に記載の非水電解質二次電池。

【請求項7】 前記第二酸化物の組成式  $Li_aMn_bNi_cCo_dO_2$  において、 $0.1 \leq d/(c+d) \leq 0.5$  であることを特徴とする請求項6に記載の非水電解質二次電池。

【請求項8】 前記混合物における、前記第一酸化物と第二酸化物とが重量比20:80～80:20で混合されていることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項9】 前記第一酸化物の平均粒径が5～30  $\mu m$ であることを特徴とする請求項1～8のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項10】 前記第二酸化物の平均粒径が3～15  $\mu m$ であることを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項11】 リチウムと、マンガンと、マンガンとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成されるスピネル系酸化物からなる第一酸化物と、

リチウムと、ニッケルと、コバルトと、ニッケル及びコバルトとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成され、前記第一酸化物とは異なる第二酸化物と、リチウムと、コバルトと、酸素とから構成されるか、あるいはリチウムと、コバルトと、コバルトとは異なる金属と、酸素とから構成され、前記第一酸化物及び第二酸化物とは異なる第三酸化物とからなる混合物を正極材料とすることを特徴とする非水電解質二次電池。

【請求項12】 前記第一酸化物が、リチウム-マンガン複合酸化物のマンガンの一部を他の元素で置き換えた酸化物であり、前記第二酸化物が、リチウム-ニッケル複合酸化物のニッケルの一部をコバルトと他の元素で置き換えた酸化物であり、前記第三酸化物が、リチウム-コバルト複合酸化物または該リチウム-コバルト複合酸化物のコバルトの一部を他の元素で置き換えた酸化物であることを特徴とする請求項11に記載の非水電解質二次電池。

【請求項13】 前記第一酸化物が、組成式  $Li_xMn_{2-y}M_{1-y}O_{4+z}$  ( $M_1$ はAl、Co、Ni、Mg、Feからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 \leq x \leq 1.2$ 、 $0 < y \leq 0.1$ 、 $-0.2 \leq z \leq 0.2$ ) で表されるリチウム-マンガン系複合酸化物であることを特徴とする請求項11または12に記載の非水電解質二次電池。

【請求項14】 前記第二酸化物が、組成式  $Li_aM_{2-b}Ni_cCo_dO_2$  ( $M_2$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < a < 1.3$ 、 $0.02 \leq b \leq 0.3$ 、 $0.02 \leq d/(c+d) \leq 0.9$ 、 $b+c+d=1$ ) で表されることを特徴とする請求項11～13のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項15】 前記第三酸化物が、組成式  $Li_eM_{3-f}Co_{1-f}O_2$  ( $M_3$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < e < 1.3$ 、 $0 \leq f \leq 0.4$ ) で表されることを特徴とする請求項11～14のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項16】 前記第一酸化物の組成式  $Li_xMn_{2-y}M_{1-y}O_{4+z}$  において、 $M_1$ がAl、Mgの少なくとも1種であることを特徴とする請求項13に記載の非水電解質二次電池。

【請求項17】 前記第二酸化物の組成式  $Li_aM_{2-b}Ni_cCo_dO_2$  において、 $M_2$ がMnであることを特徴とする請求項14に記載の非水電解質二次電池。

【請求項18】 前記第二酸化物の組成式  $Li_aMn_bNi_cCo_dO_2$  において、 $0.1 \leq d/(c+d) \leq 0.5$  であることを特徴とする請求項17に記載の非水電解

質二次電池。

【請求項19】 前記第三酸化物が、組成式  $Li_xM_3Co_{1-f}O_2$  ( $M_3$ はMg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < e < 1.3$ 、 $0.02 \leq f \leq 0.2$ ) で表されることを特徴とする請求項15に記載の非水電解質二次電池。

【請求項20】 前記混合物における、前記第一酸化物と第二酸化物と第三酸化物とが、重量比で(第一酸化物):(第二酸化物+第三酸化物)=20:80~80:20で混合されていることを特徴とする請求項11~19のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項21】 前記混合物における、前記第二酸化物と第三酸化物とが、重量比で(第二酸化物):(第三酸化物)=90:10~10:90で混合されていることを特徴とする請求項20に記載の非水電解質二次電池。

【請求項22】 前記第一酸化物の平均粒径が5~30  $\mu m$ であることを特徴とする請求項11~21のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項23】 前記第二酸化物の平均粒径が3~15  $\mu m$ であることを特徴とする請求項11~22のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【請求項24】 前記第三酸化物の平均粒径が3~15  $\mu m$ であることを特徴とする請求項11~23のいずれかに記載の非水電解質二次電池。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明はリチウム二次電池に代表される非水電解質二次電池に係わり、詳しくはサイクル後の負荷特性の向上を目的とした、正極材料の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、金属リチウムまたはリチウムイオンを吸蔵・放出し得る合金、若しくは炭素材料などを負極活物質とし、リチウム遷移金属複合酸化物を正極材料とする非水電解質電池が、高エネルギー密度を有する電池として注目されている。

【0003】 上記リチウム遷移金属の複合酸化物の中においても、リチウムコバルト複合酸化物 ( $LiCoO_2$ )、リチウムニッケル複合酸化物 ( $LiNiO_2$ )、リチウムマンガン複合酸化物 ( $LiMn_2O_4$ ) などを正極活物質として用いれば4V級の高い放電電圧が得られ、特に電池のエネルギー密度を高めることが可能となる。

【0004】 ところで、上述の正極材料に用いる複合酸化物の中でも、原料の価格及び原料の供給安定性の観点から、スピネル構造を有するリチウムマンガン複合酸化物 ( $LiMn_2O_4$ ) が有望視されている。

【0005】 しかし、このリチウムマンガン複合酸化物 ( $LiMn_2O_4$ ) を、正極材料に使用するにあたっては、未だ改良の余地がある。即ち、このスピネル型の

複合酸化物は、スピネル構造を有しない、リチウムコバルト複合酸化物やリチウムニッケル複合酸化物と比べて、充放電サイクルの進行に伴う容量の低下が大きいからである。

【0006】 この問題を解決するため、例えば、M.Wakihara氏等から、スピネル構造を有するリチウムマンガン複合酸化物 ( $LiMn_2O_4$ ) のMn原子を、Co、Cr、Niなどの異種元素で一部置換し、結晶構造を強化することによりサイクル特性を改善できることが報告されている〔J.Electrochem.Soc., vol.143, No.1, p178(1996) 参照〕。

【0007】 しかし、このような置換を行った場合でも、サイクル特性の改善は十分ではなかった。この理由は、スピネル構造を有するリチウムマンガン系複合酸化物が、二次電池の充放電の度に膨張収縮を繰り返す、これに伴い活物質粒子も膨張収縮を繰り返す。このため、正極の強度が低下し、活物質粒子と導電剤粒子の接触が不十分になり、正極の利用率が低下したり、あるいは正極合剤が集電体から剥離するなどの問題が発生するためである。

【0008】 そこで、例えば特開平8-45498号公報において、リチウムマンガン複合酸化物がリチウムイオンを挿入する際に結晶が膨張するのに対しリチウムニッケル系複合酸化物は逆に収縮することに着目し、リチウムマンガン複合酸化物とリチウムニッケル系複合酸化物を混合することにより、正極合剤全体での膨張・収縮を抑制することが提案されている。

【0009】 また、特開平11-3698号公報及び特開平11-54122号公報において、リチウムコバルト複合酸化物がリチウムマンガン複合酸化物よりも高い電子伝導性を有することに着目し、リチウムニッケル複合酸化物とリチウムコバルト複合酸化物とリチウムニッケル複合酸化物を混合することにより、正極合剤全体での電子伝導性を向上させ、サイクル特性を向上させることが提案されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上述の混合により改良を行ったとしても、サイクル特性を改善する余地がある。そこで本発明者らは、スピネル構造を有するリチウムマンガン複合酸化物とリチウムニッケル系複合酸化物を混合した正極材料(活物質)のサイクルに伴う容量の低下について検討したところ、サイクルの経過に伴い負荷特性が低下していることが判った。つまり、負荷特性が低下するために、初期容量とサイクル後の容量を1C放電のような比較的大きな電流で測定すると、サイクルに伴う容量低下が発生していた。

【0011】 本発明の目的は、容量維持率が高くサイクル特性の良好な非水電解質二次電池を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の局面に従う非水電解質二次電池は、リチウムと、マンガンと、マンガンとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成されるスピネル系酸化物からなる第一酸化物と、リチウムと、ニッケルと、コバルトと、ニッケル及びコバルトとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成され、前記第一酸化物とは異なる第二酸化物とからなる混合物を正極材料とすることを特徴としている。

【0013】以下、本発明の第1の局面について説明する。第一酸化物として、具体的には、リチウム-マンガン複合酸化物のマンガンの一部を他の元素で置き換えた酸化物が挙げられる。第二酸化物として、具体的には、リチウム-ニッケル複合酸化物のニッケルの一部をコバルトと他の元素で置き換えた酸化物が挙げられる。

【0014】スピネル構造を有するリチウム-マンガン複合酸化物のマンガンの一部を他の元素で置き換えた第一酸化物と、リチウム-ニッケル複合酸化物のニッケルの一部をコバルトと他の元素で置き換えた第二酸化物を用いることにより、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下を抑制することができる。この第1の理由としては、それぞれ異種元素を固溶させることにより、第一酸化物及び第二酸化物の活物質の電子状態が変化し、活物質全体の電子伝導性が向上したためと考えられる。また第2の理由としては、リチウムイオンの挿入により結晶が膨張するリチウム-マンガン系複合酸化物と、リチウムイオンの挿入により結晶が収縮するリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を用いているので、サイクルの経過に伴う第一酸化物と第二酸化物の粒子間の接触が安定に維持されるためと考えられる。

【0015】ここで、前記第一酸化物としては、スピネル構造を有する組成式  $Li_xMn_{2-y}M1_zO_{4+z}$  ( $M1$  は  $Al$ 、 $Co$ 、 $Ni$ 、 $Mg$ 、 $Fe$  からなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 \leq x \leq 1$ 、 $2, 0 < y \leq 0.1$ 、 $-0.2 \leq z \leq 0.2$ ) で表されるリチウム-マンガン系複合酸化物を例示することができる。そして、この中でも、組成式  $Li_xMn_{2-y}M1_zO_{4+z}$  における  $M1$  としては  $Al$ 、 $Mg$  の少なくとも1種が好適である。

【0016】一方、前記第二酸化物としては、組成式  $Li_aM2_bNi_cCo_dO_2$  ( $M2$  は  $Al$ 、 $Mn$ 、 $Mg$ 、 $Ti$  からなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < a < 1.3$ 、 $0.02 \leq b \leq 0.3$ 、 $0.02 \leq d / (c + d) \leq 0.9$ 、 $b + c + d = 1$ ) で表される複合酸化物を例示することができる。そして、この中でも、 $M2$  を  $Mn$  とし、組成式  $Li_aMn_bNi_cCo_dO_2$  において  $0.1 \leq d / (c + d) \leq 0.5$  となる第二酸化物が最適である。

【0017】そして前記混合物において、前記第一酸化物と第二酸化物とが重量比で  $20:80 \sim 80:20$  とするのが、高容量を維持できるという観点から最適であ

る。この範囲にある場合に、全体の電子伝導性がより向上し、第一酸化物と第二酸化物の粒子同志の接触がより安定に維持されるため、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下が抑制される。

【0018】また上記第一酸化物であるリチウム-マンガン系複合酸化物の平均粒径は  $5 \sim 30 \mu m$ 、上記第二酸化物であるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物の平均粒径は  $3 \sim 15 \mu m$  であることが好ましく、最も好ましいのはこれらの組み合わせである。尚、第一酸化物の粒径が、第二酸化物の粒径よりも大きい方が好ましい。粒径が上記の範囲にある場合に、各複合酸化物の粒子同志の接触がより多くなり合剤全体の電子伝導性が向上するため、また各複合酸化物の膨張収縮がより効果的に相殺され各複合酸化物の粒子同志の接触がより安定に維持されるため、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下が抑制される。ここで平均粒径は、正極活物質または正極合剤を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察し、 $100 \mu m$  四方に含まれる活物質粒子中の5個の粒子の長手方向の大きさを測定し、全粒子の大きさの平均として求めた。上述の各構成により、充放電サイクルの経過によっても負荷特性が低下しない信頼性の高い非水電解質二次電池を提供することができる。

【0019】本発明の第2の局面に従う非水電解質二次電池は、リチウムと、マンガンと、マンガンとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成されるスピネル系酸化物からなる第一酸化物と、リチウムと、ニッケルと、コバルトと、ニッケル及びコバルトとは異なる金属と、酸素とから実質的に構成され、前記第一酸化物とは異なる第二酸化物と、リチウムと、コバルトと、酸素とから構成されるか、あるいはリチウムと、コバルトと、コバルトとは異なる金属と、酸素とから構成され、前記第一酸化物及び第二酸化物とは異なる第三酸化物とからなる混合物を正極材料とすることを特徴としている。

【0020】以下、本発明の第2の局面について説明する。第一酸化物及び第二酸化物としては、本発明の第1の局面における第一酸化物及び第二酸化物を用いることができる。

【0021】第三酸化物として、具体的には、リチウム-コバルト複合酸化物または該リチウム-コバルト複合酸化物のコバルトの一部を他の元素で置き換えた酸化物が挙げられる。

【0022】第2の局面においても、第1の局面と同様の第一酸化物及び第二酸化物を用いているので、第1の局面と同様の理由により、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下を抑制することができる。

【0023】第2の局面においては、さらに第三酸化物を第一酸化物及び第二酸化物に混合して用いている。第三酸化物の電子伝導性は、第一酸化物及び第二酸化物の電子伝導性よりも高いため、さらにサイクルに伴う負荷特性の低下を防ぐことができる [M. Menetrier et al., "

The Second Japan-France Joint Seminar on Lithium Batteries, November 23-24, 1998, Morioka, Japan” ,p.8 3参照〕。

【0024】前記第三酸化物としては、組成式  $Li_e M_{3-f} Co_{1-f} O_2$  ( $M$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < e < 1.3$ 、 $0 \leq f \leq 0.4$ )で表される複合酸化物を例示することができる。そして、この中でも、 $M$ をMg、Tiの少なくとも1種とし、組成式  $Li_e M_{3-f} Co_{1-f} O_2$  において  $0.02 \leq f \leq 0.2$ となる第三酸化物が好適である。

【0025】そして前記混合物において、前記第一酸化物と第二酸化物と第三酸化物とを、重量比で(第一酸化物):(第二酸化物+第三酸化物)=20:80~80:20とするのが、高容量を維持できるという観点から好適である。この範囲にある場合に、全体の電子伝導性がより向上し、第一酸化物と第二酸化物と第三酸化物の粒子同志の接触がより安定に維持されるため、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下が抑制される。

【0026】さらに前記混合物における、前記第二酸化物と第三酸化物とを、重量比で(第二酸化物):(第三酸化物)=90:10~10:90とするのが、高容量を維持できるという観点から最適である。この範囲にある場合に、全体の電子伝導性がさらに向上し、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下がさらに抑制される。

【0027】また上記第一酸化物であるリチウム-マンガン系複合酸化物の平均粒径は5~30 $\mu m$ 、上記第二酸化物であるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物の平均粒径は3~15 $\mu m$ 、上記第三酸化物であるリチウム-コバルト系複合酸化物の平均粒径は3~15 $\mu m$ であることが好ましく、最も好ましいのはこれらの組み合わせである。尚、第一酸化物の粒径が、第二酸化物及び第三酸化物の粒径よりも大きいほうが好ましい。粒径が上記の範囲にある場合に、各複合酸化物の粒子同志の接触がより多くなり合剤全体の電子伝導性が向上するため、また各複合酸化物の膨張収縮がより効果的に相殺され各複合酸化物の粒子同志の接触がより安定に維持されるため、サイクルの経過に伴う負荷特性の低下が抑制される。ここで平均粒径は、本発明の第1の局面と同様に求めることができる。

【0028】上述の各構成により、充放電サイクルの経過によっても負荷特性が低下しない信頼性の高い非水電解質二次電池を提供することができる。以下、本発明の第1の局面及び第2の局面に共通する事項について、「本発明」として説明する。

【0029】本発明に使用する正極材料以外の他の電池材料については、非水電解質二次電池用として、従来公知の材料を特に制限なく使用することができる。そして、負極材料としては、リチウム金属、または、リチウムを吸蔵放出可能な物質であるリチウム-アルミニウム

合金、リチウム-鉛合金、リチウム-錫合金などのリチウム合金、黒鉛、コークス、有機物焼成体等の炭素材料、 $SnO_2$ 、 $SnO$ 、 $TiO_2$ 、 $Nb_2O_5$ などの電位が正極活物質に比べて卑な金属酸化物が例示される。

【0030】また、非水電解液の溶媒としては、エチレンカーボネート(EC)、プロピレンカーボネート(PC)、ビニレンカーボネート(VC)、ブチレンカーボネート(BC)等の高沸点溶媒や、これらとジメチルカーボネート(DMC)、ジエチレンカーボネート(DEC)、メチルエチルカーボネート(EMC)、1,2-ジエトキシエタン(DEE)、1,2-ジメトキシエタン(DME)、エトキシメトキシエタン(EME)などの低沸点溶媒との混合溶媒が例示される。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施例に基づき更に詳細に説明するが、本発明は下記実施例により何ら限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲において適宜変更して実施することが可能なものである。

【0032】以下の実験1~実験3は、本発明の第1の局面に従う実施例を示している。

<実験1>この実験1では、正極材料の種類を代えて、電池を作製しその特性を比較した。

【0033】(実施例) 先ず、正極の作製について記述する。水酸化リチウム(LiOH)と硫酸マンガン( $Mn(NO_3)_2$ )と硝酸アルミニウム( $Al(NO_3)_3$ )とを、LiとMnとがAlが1:1.95:0.05のモル比となるように混合した後、大気中で800℃で20時間熱処理後、粉砕し、平均粒径15 $\mu m$ の組成式  $Li_{1.95} Al_{0.05} O_4$  で表されるリチウム-マンガン系複合酸化物(第一酸化物)を得た。この第一酸化物は、スピネル構造を有するものである。

【0034】また、LiOHと硝酸ニッケル( $Ni(NO_3)_2$ )と硝酸コバルト( $Co(NO_3)_2$ )と硝酸マンガン( $Mn(NO_3)_2$ )とを、LiとNiとCoとMnが1:0.6:0.3:0.1のモル比となるように混合した後、酸素雰囲気中で750℃で20時間熱処理後、粉砕し、平均粒径10 $\mu m$ の組成式  $LiNi_{0.6}Co_{0.3}Mn_{0.1}O_2$  で表されるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物(第二酸化物)を得た。

【0035】このようにして得られた第一酸化物と第二酸化物とを、重量比で1:1となるように混合して、正極材料(正極活物質)とした。この正極活物質の粉末90重量部と、人造黒鉛粉末5重量部と、ポリフッ化ビニリデン5重量部のN-メチル-2-ピロリドン(NMP)溶液とを混合してスラリーを調整した。このスラリーをアルミニウム箔の両面にドクターブレード法により塗布して活物質層を形成した後、150℃で2時間真空乾燥して、正極を作製した。

【0036】次に、天然黒鉛95重量部と、ポリフッ化ビニリデン5重量部のNMP溶液とを混合し炭素スラリー

ーを調整した。この炭素スラリーを銅箔の両面にドクターブレード法により塗布して炭素層を形成した後、150℃で2時間真空乾燥して、負極を作製した。

【0037】そして、非水電解液としては、エチレンカーボネートとジメチルカーボネートの体積比1:1の混合溶媒に、1モル/リットルの $\text{LiPF}_6$ を溶かして調製したものを用いた。

【0038】上記の正極、負極及び非水系電解液を用いて、AAサイズの非水系電解質二次電池（電池寸法：直径14mm；高さ50mm、公称容量580mAh）の本発明電池Aを作製した。尚、セパレータとしてポリプロピレン製の微多孔膜を用いている。

【0039】（比較例1）上記実施例の正極において、正極活物質としてリチウム-マンガン系複合酸化物（第一酸化物）のみを用いること以外は上記本発明電池Aと同様にして、比較電池X1を作製した。

【0040】（比較例2）上記実施例の正極において、正極活物質として $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ で表されるリチウム-マンガン複合酸化物（スピネルマンガン）のみを用いること以外は上記本発明電池Aと同様にして、比較電池X2を作製した。

【0041】（比較例3）上記実施例の正極において、正極活物質としてリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物（第二酸化物）のみを用いたこと以外は上記本発明電池Aと同様にして、比較電池X3を作製した。

【0042】（比較例4）上記実施例の正極において、第一酸化物として組成式 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ で表されるリチウム-マンガン複合酸化物（スピネルマンガン）を用いること以外は実施例1と同様にして、比較電池X4を作製した。

【0043】（比較例5）上記実施例の正極において、第二酸化物として組成式 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ で表されるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を用いること以外は上記本発明電池Aと同様にして、比較電池X5を作製した。

【0044】上述のとおり、作製した電池の正極材料を、表1に示しておく。

【0045】

【表1】

電池種	正極材料
本発明電池A	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池X1	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$
比較電池X2	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$
比較電池X3	$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池X4	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池X5	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$

【0046】（充放電試験）次に上記のようにして作製した本発明電池A及び比較電池X1～X5の各電池を、それぞれ室温（25℃）にて、1Cに相当する電流値である580mAで4.2Vまで定電流充電した後、更に終止電流50mAで4.2V定電圧充電を行い、その後1Cに相当する電流値である580mAで2.75Vまで定電流放電した。このときの放電容量を1C容量 $A_1$ とした。

【0047】次いで上記と同様の充電を行った後、0.2Cに相当する電流値である116mAで2.75Vまで定電流を行い、このときの放電容量を0.2C容量 $B_1$ とした。

【0048】次に1C容量を測定する際の充放電を1サイクルとして200サイクル充放電を行い、その後、上記と同様の測定を行い、1C容量 $A_{200}$ 、0.2C容量 $B_{200}$ を求めた。そして200サイクル後の1C容量維持率 $A_{200}/A_1$ 、0.2C容量維持率 $B_{200}/B_1$ を求めた。

【0049】この結果を、図1に示す。尚、この結果において、1C容量維持率と0.2C容量維持率の差が大きいほど、サイクルにより負荷特性が低下していることを示している。

【0050】比較電池X1と比較電池X2の対比から、第一酸化物であるリチウム-マンガン複合酸化物（ $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ）に異種元素（Al）を固溶させることにより、1C容量維持率、0.2C容量維持率共に改善されることが判る。これは第一酸化物に異種元素を固溶させることにより結晶構造が強化され、充放電に伴う結晶構造の劣化が抑制されたためである。

【0051】また比較電池X3～比較電池X5と、比較電池X1及び比較電池X2との対比から、正極において、 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ に $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ や $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ を、また $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ に $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ を混合することにより、それぞれ単独の場合よりも1C容量維持率、0.2C容



量維持率共に改善されることが判る。これはリチウム-マンガン系複合酸化物とリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を混合することにより、充放電に伴う合剤全体の膨張収縮を抑制できたためである。

【0052】また、本発明電池Aと比較電池X3～X5の比較から、 $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$  に  $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  を混合することにより1C容量維持率及び0.2C容量維持率が大きく改善され、また1C容量維持率と0.2C容量維持率の差が大きく減少し、サイクルに伴う負荷特性の低下が抑制されることが判る。これはリチウム-マンガン系複合酸化物とリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物それぞれに異種元素を固溶させることにより、第一、第二酸化物からなる活物質の電子状態が変化し全体の電子伝導性が向上したため、またそれらの充放電に伴う膨張収縮挙動が変化し、サイクルの経過に伴う第一酸化物と第二酸化物の粒子同志の接触が安定に維持されたためと考えられる。

【0053】上記の例では、異種元素を固溶させた第一酸化物として組成式  $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$  の酸化物を用いたが、組成式  $\text{Li}_x\text{Mn}_{2-y}\text{M}_1\text{O}_{4+z}$  ( $\text{M}_1$ はAl、Co、Ni、Mg、Feからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 \leq x \leq 1$ 、 $2$ 、 $0 < y \leq 0.1$ 、 $-0.2 \leq z \leq 0.2$ ) で表されるリチウム-マンガン系複合酸化物を用いた場合においても、同様の効果が得られることを確認している。

【0054】また、一方、上記の例では異種元素を固溶させたリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物(第二酸化物)として、組成式  $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  のものを用いたが、 $\text{Li}_a\text{M}_2\text{bNi}_c\text{Co}_d\text{O}_2$  ( $\text{M}_2$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < a < 1$ 、 $3$ 、 $0.02 \leq b \leq 0.3$ 、 $0.02 \leq d / (c + d) \leq 0.9$ 、 $b + c + d = 1$ ) で表されるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を用いた場合においても、同様の効果が得られることを確認している。

【0055】<実験2>この実験2では、正極材料における第一酸化物、第二酸化物の添加、含有比率を変化させて、電池の特性を比較した。

【0056】実施例の本発明電池Aにおいて、第一酸化物と第二酸化物との重量混合比を10:90、20:80、80:20、90:10と変化させること以外は、実施例と同様にして、電池B1～B4を作製した。そして、上記実験1の場合と同様に、1C容量維持率と0.2C容量維持率を測定した。その結果を、図2に示す。

【0057】この図2には、上記実験1で使用した電池A(第一酸化物の重量:第二酸化物の重量=50:50)の結果も併記してある。図2の結果から、上記混合物中のリチウム-マンガン系複合酸化物即ち第一酸化物の混合比が20～80重量%である場合に、1C容量維持率及び0.2C容量維持率が向上し、またサイクルに

伴う負荷特性の低下を抑制できることが判る。これは第一酸化物の混合比が上記の範囲にある場合に、サイクルの経過に伴う第一酸化物と、第二酸化物であるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物の粒子同志の接触をより安定に維持できたためであると考えられる。

【0058】<実験3>この実験3では、正極材料における第一酸化物、第二酸化物の平均粒径を変化させて、電池の特性を比較した。

【0059】上述の本発明電池Aにおいて、第一酸化物及び第二酸化物を合成する際の粉碎工程を制御することにより、表2に示した粒径を有する正極材料を得ること以外は、上記実施例と同様にして、電池C1～電池C8を作製した。

【0060】

【表2】

	第一酸化物の粒径	第二酸化物の粒径
電池C1	15 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$
電池C2	15 $\mu\text{m}$	3 $\mu\text{m}$
電池A	15 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
電池C3	15 $\mu\text{m}$	15 $\mu\text{m}$
電池C4	15 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$
電池C5	3 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
電池C6	5 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
電池C7	30 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$
電池C8	35 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$

【0061】そして、上記電池C1～C8を用いて、上記実験1の場合と同様に、1C容量維持率と0.2C容量維持率を測定した。その結果を、図3に示す。この表には、上述した実験1で準備した本発明電池Aのデータも併せて示してある。

【0062】図3の結果から、リチウム-マンガン系複合酸化物からなる第一酸化物の平均粒径が5～30  $\mu\text{m}$ の範囲、リチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物である第二酸化物の平均粒径が3～15  $\mu\text{m}$ の範囲にある場合に、特に1C容量維持率及び0.2C容量維持率が向上し、またサイクルに伴う負荷特性の低下を抑制できることが判る。

【0063】特に各複合酸化物の平均粒径が上記範囲に含まれている場合に、各複合酸化物の粒子同志の接触がより多くなり、正極合剤全体の電子伝導性が向上するため、また各複合酸化物の膨張収縮がより効果的に相殺されるため電池C2、A、C3、C6、C7の特性が良好であると考えられる。また、電池C2、A、C7と、電池C3、C6の比較から、第一酸化物の粒径が、第二酸化物の粒径よりも大きい方が好ましいことがわかる。

【0064】以下の実験4～実験7は、本発明の第2の局面に従う実施例を示している。



＜実験４＞この実験４では、正極材料の種類を代えて、電池を作製しその特性を比較した。

【００６５】（実施例）上記実験１と同様にして、第一酸化物及び第二酸化物を得た。第三酸化物については、 $\text{LiOH}$ と硝酸コバルト( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ )と硝酸マグネシウム( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )とを、 $\text{Li}$ と $\text{Co}$ と $\text{Mg}$ が $1:0.9:0.1$ のモル比となるように混合した後、乾燥空气中で $750^\circ\text{C}$ で $20$ 時間熱処理後、粉碎し、平均粒径 $10\mu\text{m}$ の $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$ で表されるリチウム-コバルト系複合酸化物（第三酸化物）を得た。

【００６６】このようにして得られた第一酸化物と第二酸化物と第三酸化物とを、重量比で $1:0.5:0.5$ となるように混合して、正極材料（正極活物質）とした。この正極活物質を用いて、上記実験１と同様にして正極を作製した。

【００６７】負極及び非水電解液は、上記実験１と同様にして作製した。得られた正極、負極及び非水電解液を用いて、上記実験１と同様にして、本発明電池Ｄを作製した。

【００６８】（比較例６）上記実施例の正極において、正極活物質としてリチウム-マンガン系複合酸化物（第一酸化物）とリチウム-コバルト系複合酸化物（第三酸化物）とを、重量比で $1:1$ となるように混合したものを用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ１を作製した。

【００６９】（比較例７）上記実施例の正極において、正極活物質としてリチウム-マンガン系複合酸化物（第一酸化物）のみを用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ２を作製した。

【００７０】（比較例８）上記実施例の正極において、正極活物質として $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ で表されるリチウム-マンガン複合酸化物（スピネルマンガン）のみを用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ３を作製した。

【００７１】（比較例９）上記実施例の正極において、正極活物質としてリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物（第二酸化物）のみを用いたこと以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ４を作製した。

【００７２】（比較例１０）上記実施例の正極において、正極活物質としてリチウム-コバルト系複合酸化物（第三酸化物）のみを用いたこと以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ５を作製した。

【００７３】（比較例１１）上記実施例の正極において、第一酸化物として組成式 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ で表されるリチウム-マンガン複合酸化物（スピネルマンガン）を用い、リチウム-マンガン複合酸化物（第一酸化物）とリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物（第二酸化物）とを、重量比で $1:1$ となるように混合したものをを用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ６を作製した。

【００７４】（比較例１２）上記実施例の正極において、第二酸化物として組成式 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ で表されるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を用い、リチウム-マンガン系複合酸化物（第一酸化物）とリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物（第二酸化物）とを、重量比で $1:1$ となるように混合したものをを用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ７を作製した。

【００７５】（比較例１３）上記実施例の正極において、第一酸化物として組成式 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ で表されるリチウム-マンガン複合酸化物（スピネルマンガン）を用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ８を作製した。

【００７６】（比較例１４）上記実施例の正極において、第二酸化物として組成式 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ で表されるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を用いること以外は上記本発明電池Ｄと同様にして、比較電池Ｙ９を作製した。

【００７７】なお、比較電池Ｙ２、Ｙ３、Ｙ４、Ｙ６、及びＹ７は、それぞれ実験１における比較電池Ｘ１、Ｘ２、Ｘ３、Ｘ４、及びＸ５と同じ電池である。上記の通り作製した電池の正極材料を表３に示す。なお、表３においては上記実験１における本発明電池Ａも併せて示している。

【００７８】

【表３】

電池種	正極材料
本発明電池D	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$
本発明電池A	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池Y1	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池Y2	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$
比較電池Y3	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$
比較電池Y4	$\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池Y5	$\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池Y6	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池Y7	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$
比較電池Y8	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$
比較電池Y9	$\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$ $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$

【0079】(充放電試験) 上記のようにして作製した本発明電池D及びA並びに比較電池Y1～Y9の各電池について、上記実験1と同様に充放電試験を行い、1C容量維持率及び0.2C容量維持率を求めた。この結果を、図4に示す。

【0080】比較電池Y2と比較電池Y3の対比から、第一酸化物であるリチウム-マンガン複合酸化物( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ )に異種元素(Al)を固溶させることにより、1C容量維持率、0.2C容量維持率共に改善されることが判る。これは第一酸化物に異種元素を固溶させることにより結晶構造が強化され、充放電に伴う結晶構造の劣化が抑制されたためである。

【0081】また比較電池Y2～比較電池Y4と、比較電池Y6及び比較電池Y7との対比から、正極において、 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ に $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ を、また $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ に $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{O}_2$ を混合することにより、それぞれ単独の場合よりも1C容量維持率、0.2C容量維持率共に改善されることが判る。これはリチウム-マンガン系複合酸化物とリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を混合することにより、充放電に伴う合剤全体の膨張収縮を抑制できたためである。

【0082】また本発明電池Aと比較電池Y6、Y7との対比から、 $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ と $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ を混合することにより1C容量維持率及び0.2C容量維持率が大きく改善され、また1C容量維持率と0.2C容量維持率の差が大きく減少し、サイクルに伴う負荷特性の低下が抑制できることが判る。これはリチウム-マンガン系複合酸化物とリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物それぞれに異種元素を固溶させることにより、第一、第二酸化物からなる活物質の電子状態が変化し全体の電子伝導性が向上したため、またそれらの充放電に伴う膨張収縮挙動が変化し、サイクルの経過に伴う第一酸化物と第二酸化物の粒子同志の接触が安定に維持されたためと考えられる。

【0083】また比較電池Y1と比較電池Y2、Y5の対比から、正極において、第一酸化物である $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$ に第三酸化物である $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$ を混合することにより、それぞれ単独の場合よりも1C容量維持率、0.2C容量維持率共に改善されることが判る。これは第三酸化物の電子伝導性が第一酸化物よりも高く、また混合により活物質全体の電子状態が変化し、さらに電子伝導性が向上したためと考えられる。

【0084】また比較電池Y6、Y7と比較電池Y8、Y9の対比から、正極において、 $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  と  $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  の混合物や、 $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$  と  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$  の混合物にさらに  $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$  を混合することにより、1C容量維持率及び0.2C容量維持率が大きく改善され、また1C容量維持率と0.2C容量維持率の差が大きく減少し、サイクルに伴う負荷特性の低下が抑制できることが判る。これもまた上記と同様の理由によるものと考えられる。

【0085】さらに、本発明電池Dと比較電池Y8、Y9の対比から、正極において、 $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$  と  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  と  $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$  を混合することにより1C容量維持率及び0.2C容量維持率が改善され、また1C容量維持率と0.2C容量維持率の差が大きく減少し、サイクルに伴う負荷特性の低下が抑制できることが判る。これは、電子伝導性が向上した第一、第二酸化物の混合物からなる活物質に電子伝導性が高い第三酸化物を混合することにより、全体の電子状態がさらに変化したためと考えられる。

【0086】上記の例では、異種元素を固溶させた第一酸化物として組成式  $\text{LiMn}_{1.95}\text{Al}_{0.05}\text{O}_4$  の酸化物を用いたが、組成式  $\text{Li}_x\text{Mn}_{2-y}\text{M}_1\text{O}_{4+z}$  ( $\text{M}_1$ はAl、Co、Ni、Mg、Feからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 \leq x \leq 1$ 、 $2$ 、 $0 < y \leq 0.1$ 、 $-0.2 \leq z \leq 0.2$ ) で表されるリチウム-マンガン系複合酸化物を用いた場合においても同様の効果が得られることを確認している。

【0087】また、一方、上記の例では、異種元素を固溶させたリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物(第二酸化物)として組成式  $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$  のものを用いたが、 $\text{Li}_a\text{M}_{2-b}\text{Ni}_c\text{Co}_d\text{O}_2$  ( $\text{M}_2$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < a < 1$ 、 $3$ 、 $0.02 \leq b \leq 0.3$ 、 $0.02 \leq d/(c+d) \leq 0.9$ 、 $b+c+d=1$ ) で表されるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物を用いた場合においても同様の効果が得られることを確認している。

【0088】また、一方、上記の例では、リチウム-コバルト系複合酸化物(第三酸化物)として組成式  $\text{LiCo}_{0.9}\text{Mg}_{0.1}\text{O}_2$  のものを用いたが、 $\text{Li}_e\text{M}_3\text{Co}_{1-f}\text{O}_2$  ( $\text{M}_3$ はAl、Mn、Mg、Tiからなる群から選択される少なくとも1種の元素であり、且つ  $0 < e < 1$ 、 $3$ 、 $0 \leq f \leq 0.4$ ) で表されるリチウム-コバルト系複合酸化物を用いた場合においても同様の効果が得られることを確認している。

【0089】<実験5>この実験5では、正極材料における第一酸化物の含有比率を変化させて、電池の特性を比較した。

【0090】実施例の本発明電池Dにおいて、第一酸化物と第二酸化物と第三酸化物の重量混合比を10:45:45、20:40:40、80:10:10、90:5:5と変化させること以外は、実施例と同様にし、電池E1~E4を作製した。そして、上記実験1の場合と同様に、1C容量維持率と0.2C容量維持率を測定した。その結果を、図5に示す。

【0091】この図5には、上記実験4で使用了電池D(第一酸化物の重量:第二酸化物の重量:第三酸化物の重量=50:25:25)の結果も併記してある。図5の結果から、上記混合物中のリチウム-マンガン系複合酸化物即ち第一酸化物の混合比が20~80重量%である場合に、1C容量維持率及び0.2C容量維持率が向上し、またサイクルに伴う負荷特性の低下を抑制できることが判る。これは第一酸化物の混合比が上記の範囲にある場合に、サイクルの経過に伴う第一酸化物と、第二酸化物であるリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物の粒子同志の接触をより安定に維持できたためであると考えられる。

【0092】<実験6>この実験6では、正極材料における第二酸化物と第三酸化物の含有比率を変化させて、電池の特性を比較した。

【0093】実施例の本発明電池Dにおいて、第一酸化物と第二酸化物と第三酸化物の重量混合比を50:3:47、50:5:45、50:45:5、50:47:3と変化させること以外は、実施例と同様にし、電池F1~F4を作製した。そして、上記実験1の場合と同様に、1C容量維持率と0.2C容量維持率を測定した。その結果を、図6に示す。

【0094】この図6には、上記実験4で使用了電池D(第一酸化物の重量:第二酸化物の重量:第三酸化物の重量=50:25:25)の結果も併記してある。図6の結果から、上記混合物中のリチウム-ニッケル-コバルト系複合酸化物即ち第二酸化物と、リチウム-コバルト系複合酸化物即ち第三酸化物の混合比が重量比で90:10~10:90である場合に、1C容量維持率及び0.2C容量維持率が向上し、またサイクルに伴う負荷特性の低下を抑制できることが判る。これは電子伝導性が向上した第一、第二酸化物の混合物からなる活物質に電子伝導性が高い第三酸化物を混合することにより、全体の電子状態がさらに変化したためと考えられる。

【0095】<実験7>この実験7では、正極材料における第三酸化物の平均粒径を変化させて、電池の特性を比較した。

【0096】上述の本発明電池Dにおいて、第三酸化物を合成する際の粉碎工程を制御することにより、表4に示した粒径を有する活物質を得ること以外は上記実施例と同様にし、電池G1~G4を作製した。

【0097】

【表4】

	第一酸化物の粒径	第二酸化物の粒径	第三酸化物の粒径
電池 G 1	15 $\mu$ m	10 $\mu$ m	2 $\mu$ m
電池 G 2	15 $\mu$ m	10 $\mu$ m	3 $\mu$ m
電池 D	15 $\mu$ m	10 $\mu$ m	10 $\mu$ m
電池 G 3	15 $\mu$ m	10 $\mu$ m	15 $\mu$ m
電池 G 4	15 $\mu$ m	10 $\mu$ m	20 $\mu$ m

【0098】そして、上記電池 G 1～G 4 を用いて、上記実験 1 の場合と同様に、1C 容量維持率と 0.2C 容量維持率を測定した。その結果を図 7 に示す。この図 7 には、上述した実験 4 で準備した本発明電池 D のデータも併せて示してある。

【0099】図 7 の結果から、リチウム-コバルト系複合酸化物である第三酸化物の平均粒径が 3～15  $\mu$ m の範囲にある場合に、特に、1C 容量維持率及び 0.2C 容量維持率が向上し、またサイクルに伴う負荷特性の低下を抑制できることが判る。

【0100】特に第三酸化物の平均粒径が上記範囲に含まれている場合に、各複合酸化物の粒子同志の接触がより多くなり、合剤全体の電子状態が変化し電子伝導性が向上するため、また各複合酸化物の膨張収縮がより効果的に相殺されるため電池 G 2、D、G 3 の特性が良好であると考えられる。

【0101】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、

サイクルに伴う負荷特性の低下がより少ないリチウム二次電池を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明電池 A と比較電池の容量維持率を示す比較図である。

【図 2】電池 A と電池 B 1～B 4 の容量維持率を示す比較図である。

【図 3】電池 A と電池 C 1～C 8 の容量維持率を示す比較図である。

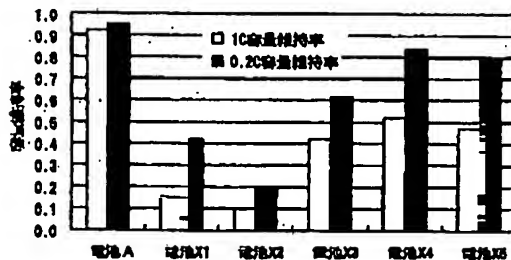
【図 4】本発明電池 A 及び D と比較電池の容量維持率を示す比較図である。

【図 5】電池 D と電池 E 1～E 4 の容量維持率を示す比較図である。

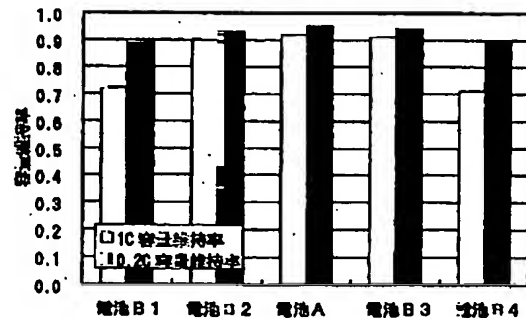
【図 6】電池 D と電池 F 1～F 4 の容量維持率を示す比較図である。

【図 7】電池 D と電池 G 1～G 4 の容量維持率を示す比較図である。

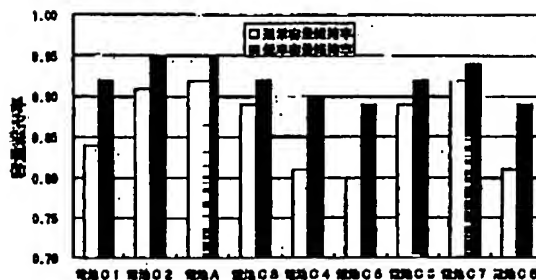
【図 1】



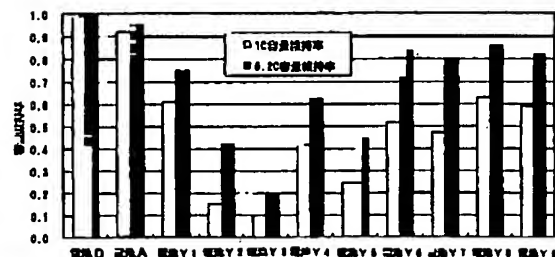
【図 2】



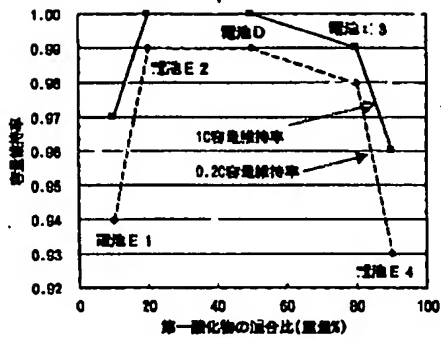
【図 3】



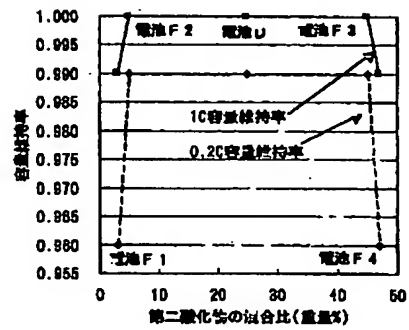
【図 4】



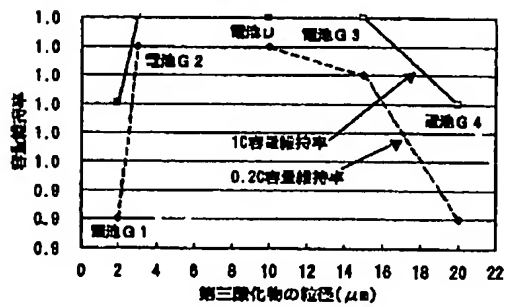
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 大下 竜司  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三  
洋電機株式会社内  
(72)発明者 藤谷 伸  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三  
洋電機株式会社内

Fターム(参考) 5H003 AA04 BB05 BC06 BD00 BD02  
BD04  
5H014 AA02 EE10 HH00 HH01  
5H029 AJ05 AK03 AL07 AM03 AM05  
AM07 BJ02 HJ01 HJ02 HJ05